

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Silica Aerogel Synthesis and Characterization by Waste Cast Sand Recovery

Tuba Arkan^a, Hakan Gokmese^b

Submitted: 30.05.2022 Revised: 14.06.2022 Accepted: 08.11.2022 doi:10.30855/gmbd.0705032

ABSTRACT

In this work, waste casting sand obtained from Seydişehir Eti Aluminum plants was used as starting material. Silica aerogel was produced by sol-gel method over this supplied material. As the beginning of the studies, XRD and XRF analyzes were performed on the waste casting sand, respectively. Thus, the chemical compositions of the starting materials were determined. Following the analysis studies, sodium silicate solution was obtained from the waste foundry sand. Then, five different pH values (2, 4, 6, 8 and 9) were applied for the synthesis studies of silica aerogel. Finally, the appropriate pH value was determined and silica aerogel modification (Superhydrophobic) was carried out. Characterization studies, respectively, density measurements, FT-IR analysis, contact angle measurement and SEM examinations were carried out on the synthesized silica aerogel material. As a result of applied different pH values and experiments, the formation of silica aerogel content with the lowest density with pH 8 value was determined.

Atık Döküm Kum Geri Kazanımı İle Silika Aerojel Sentezi ve Karakterizasyonu

ÖZ

Bu çalışmada Seydişehir Eti Alüminyum tesislerinden temin edilen atık dökümü kumu, başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Tedarik edilen bu malzeme üzerinden sol-jel yöntemi ile silika aerojel sentezi gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların başlangıcında atık döküm kumuna sırasıyla XRD ve XRF analizleri yapılmıştır. Böylelikle başlangıç malzeme kimyasal bileşimleri tespit edilmiştir. Analiz çalışmalarını takiben atık döküm kumundan sodyum silikat çözeltisi elde edilmiştir. Daha sonra silika aerojel sentezleme çalışmaları için beş farklı pH değeri (2, 4, 6, 8 ve 9) uygulanmıştır. Son olarak uygun pH değeri belirlenerek silika aerojel modifikasyonu (Süperhidrofobik) gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen silika aerojel malzemede sırasıyla yoğunluk ölçümleri, FT-IR analizi, temas açısı ölçümü ve SEM incelemeleri olmak üzere karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Uygulanan farklı pH değer ve deneyleri neticesinde, pH 8 değeri ile yoğunluğu en düşük silika aerojel içeriği oluşumu tespit edilmiştir.

Keywords: Waste casting sand,
Sol- gel, Silica aerogel

^{a*} Kto Karatay University,
Fine Arts and Desing Faculty,
Dept. of Interior Architecture
42040-Karatay- Konya,
Türkiye
Orcid: 0000-0003-3278-9045
e mail: tuba_arkan@hotmail.com

^b Necmettin Erbakan University,
Seydisehir Ahmet Cengiz
Faculty of Engineering,
Dept. of MechanicalEngineering
42370-Seydisehir-Konya, Türkiye
Orcid: 0000-0003-0053-8444

*Corresponding author:
tuba_arkan@hotmail.com

Anahtar Kelimeler: Atık döküm kumu,
Sol-jel, Silika aerojel

1. Giriş (Introduction)

Son zamanlarda özellikle hafifliği ile öne çıkan aerojeller, alkojel adı verilen silika ve etanol içerikli sıvı çözücünden oluşan jelin kurutulularak katı silika bileşeninden sıvının ayrıştırılması işlemiyle üretilmektedir. Bu malzemenin yüzeyleri çok sayıda deliklerden oluşmaktadır. Bu deliklerin büyüklüğü milimetrenin milyarda biri kadardır ve delikler malzemeyi bir ağ gibi çevrelemektedir. Aerojellerin kırılğan bir yapıya sahip olduğu bilinmekte ve bu olumsuz özelliği teknolojik ilerlemeler sonrası giderilmiştir. Aerojellerin yapısının büyük çoğunluğu havadan oluşmaktadır. Bu özellik aerojellerin hafif ve şeffaf bir malzeme olmasını sağlamaktadır [1]. Günümüz teknolojisinde aerojeller; uzay ve havacılıkta ısı yalıtımı, akustik yalıtım, bina, katalizör, endüstriyel alanlar, yakıt hücreleri, spor ekipmanları, tekstil ve kimyasal sensör gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Aerojeller birçok farklı formda yer alabilmektedir. Bunlar sırasıyla granül, monolit, levha ve keçe gibi belirtilebilir. Aerojel granülleri ve monolitler sol-jel yöntemiyle sentezlenirken, aerojel keçe ve levhalar fiber, parçacık ve opaklaştırıcıların takviyesi ile üretilir. Granül ve monolit aerojelin kırılğan yapısı nedeniyle, uygulama alanı sınırlıdır. Kırılğanlığı azaltıp, mekanik bütünlüğü iyileştirmek için, aerojeller genellikle destekleyici fiber yapılarla güçlendirilir ve bu nedenle esnek ısı yalıtım keçeleri olarak kullanılabilir [2].

Çoğunlukla karşımıza çıkan silika aerojeller, kendine özgü gözenek yapısı ile hidrolik aktive göstermemekle birlikte yüksek miktardaki hava boşluklarına rağmen katı iskelet yapılarını muhafaza edecek şekilde üretilmektedir. Bu malzeme son zamanlarda dünyada en hafif malzeme türü olarak aday potansiyeli oluşturmaktadır. Özellikle çimento içerikli bileşimlerde kullanılması giderek ön plana çıkmaktadır. Böylelikle bu malzemelerin kullanıldığı çalışmalar, termal veya akustik yalıtım performanslarının iyileştirilmesi odaklı olabilmektedir. Bilhassa silika aerojeller %99.8 gibi yüksek gözenek hacmine sahip olmalarının yanı sıra kendi ağırlıklarının neredeyse 1600 katı kadar yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Parçacık yoğunlukları dikkate alındığında, hava parçacıklarına nazaran 4 -5 kat daha yüksek olduğu bilinmektedir. Alkali- aktive edilmiş harç uygulamalarında silika aerojellerin düşük takviye içeriklerinde kullanımına yönelik yapılan çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle eşit aktivatör oranı için uygulanan karışımlarda uygun seviyelerde artan aerojel içeriği sonrası az da olsa dayanım değerinde bir artış oluşturduğu görülmektedir [3,4]. Silika aerojeller, ilk kez 1930' lu yıllarda S. Kistler tarafından üretilmiştir. İlk zamanlarda otomotiv, elektronik, giyim, kimya gibi farklı uygulama alanlarında kullanılmışlardır. Ancak sonraki dönemlerde yüksek miktardaki yalıtım özellikleri sebebiyle çimento içerikli yapı malzemelerinin üretiminde çoğunlukla uygulama bulmuştur. Silika aerojeller, 500-1200 m² /g yüksek yüzey alanları, 0.003 g/cm³ düşük yoğunlukları, %99.8' varan yüksek poroziteleri ve 0.005 W/(m.K) gibi oldukça düşük termal iletkenlik katsayıları ile dünyanın en hafif katısı olarak tanımlanabilmektedir [5]. Silika aerojeller basit, ekonomik ve etkili bir yöntem olarak bilinen sol-jel yöntemi ile elde edilebilmektedir. Bu yöntem çözelti oluşturma ve jelleşme, yaşlandırma, kurutma, yoğunlaştırma olmak üzere 4 basamakta gerçekleştirilmektedir [6]. Silika aerojeller sentez sırasındaki koşullara bağlı olarak hidrofilik (su sevmeme) veya hidrofobik (su sevmeme) olabilirler. Malzemenin hidrofobikliği temas açısına bakılarak ölçülmektedir. Temas açısı 90°den küçük olan yüzeyler hidrofildir, su yüzeyde yayılım gösterir. Temas açısı 90° ile 150° arasında olan yüzeyler hidrofobiktir, su yüzeyde damlacık halinde kalır, yayılım göstermez. Temas açısı 150°den büyük olan yüzeylerse süper hidrofobiktir. Hidrofobiklik özelliği; silika aerojelin nemli ve ıslak ortamlardaki suyu iterek korumaktadır [7].

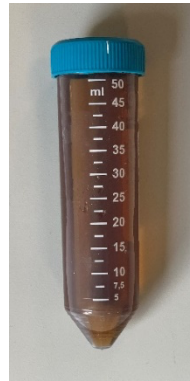
Ülkemizde yer alan döküm sektörünün zenginliği, Türkiye'nin metal döküm üretiminde dünya çapında oldukça büyük önem arz etmektedir. 1 ton döküm için yaklaşık 4 - 5 ton döküm kumu gerekmektedir ve sisteme eklenen döküm kumu tekrar değerlendirilerek silis kaynağı olarak kullanılmaktadır [8]. Döküm işleminden sonra oluşan atık döküm kumlarının miktarındaki artışlar, atık döküm kumlarının yeniden kullanılması konusunda yeni araştırmalar yapmaya yöneltmiştir [9]. Bu çerçevede döküm teknolojisi girdisi olan atık döküm kumlarının farklı uygulama alanlarından bir tanesi de sol jel yöntemi ile malzeme sentezi odaklıdır [10]. Bunlardan son zamanlarda çoğunlukla silika aerojel dikkat çeken malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır [11-16]. Bu malzemenin sol jel yöntemi ile sentezleme çalışmalarında, jelleşme ile soldan jele geçişi sürecini içermektedir. Jelleşme süresi, jelleşme için sola eklenen katalizör (HCl) miktarına bağlıdır. Solun pH değerindeki artış, yoğunlaşma reaksiyonlarının hızlarını ve sonuç olarak silika kümelerini artırır. Düşük pH aralığında (1-2) silika parçacıkları pozitif yüklüdür ve birbirlerini iterler, böylece en uzun jelleşme süresine sahiptirler. pH 5'ten 8'e kadar olan değerlerde silika sollarının jelleşmesinin başladığı yerde silika parçacıkları negatif yüklüdür ve birbirlerini iterler. Bu pH aralığında viskozite değerinin artması ile jelleşmeyi gerçekleştirilmektedir

[17,18].

Yapılan bu çalışmada kum döküm teknolojisinde çoğunlukla atık döküm kumu olarak karşımıza çıkan bu kumun geri dönüşümü ve sol-jel yöntemi ile silika aerogel sentezi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle bu yöntemde farklı pH değerleri kullanılarak sentezlenen silika aerogel toz malzemesinin üretimi ve karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

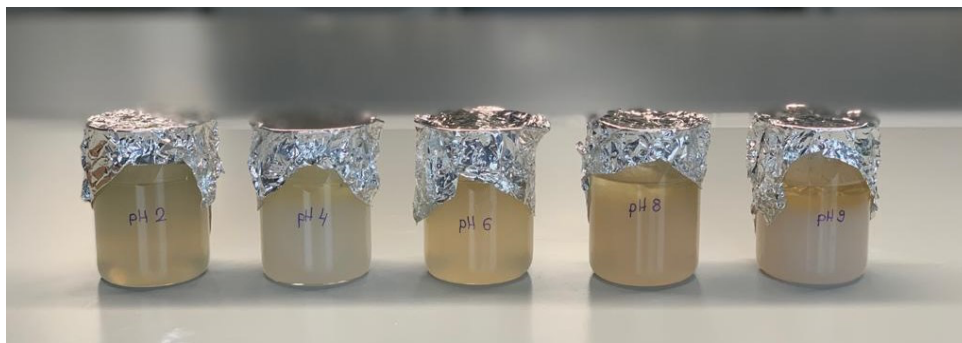
2. Deneysel Çalışmalar (Experimental Studies)

Silika aerogel malzemesinin sol-jel yöntemi kullanılarak sentezlenmesi amacıyla, kum döküm teknolojisi atık döküm kumu (Eti Alüminyum Ürünü) kullanılmıştır. Başlangıç malzemesi kimyasal bileşimi için sırasıyla XRF ve XRD analiz çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra sodyum silikat çözeltisi elde edebilmek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu amaç için ilk olarak, geri dönüşüm olarak kullanılan atık döküm kumunun saflaştırma işlemi saf su ile manyetik karıştırıcıda karıştırma işlemi sonrası gerçekleştirilmiştir. Daha sonra karışım içerisine pH 1 olana kadar 1M HCl ilave edilmiştir. Hazırlanan sulu çözelti 80 °C'de 2 saat süre ile ısıtıcı manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Bu işlemin hemen akabinde karışım siyah bant süzgeç kâğıdından süzülüp saf su ile yıkanmıştır. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra, etüvde 105 °C'de 1 gün kurutulmuştur. Kurutulmuş geri dönüşüm atık döküm kumu içerisine NaOH eklenerek bir çözelti elde edilmiştir. Hazırlanan bu çözelti 250 °C'de 2 saat otoklavda reaksiyon gerçekleşmesi bakımından bekletilmiştir. Böylelikle reaksiyon sonunda elde edilen karışım süzgeç kâğıdından süzülüp ana çözeltilerden ayrılarak sodyum silikat elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Sodyum silikat çözeltisi (Sodium silicate solution)

Hazırlanan çözeltiler dinlendirildikten sonra silika aerogel sentezi için kullanılmıştır. Silika aerogel üretimine pH değerinin etkisini incelemek için 2, 4, 6, 8, 9 olmak üzere 5 farklı pH değeri taranmıştır (Şekil 2). 10 ml sodyum silikat çözeltisinin üzerine 1M HCl eklenerek balıklı manyetik karıştırıcı yardımıyla pH'ı sırasıyla 2, 4, 6, 8, 9 olması sağlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler 25°C'de 24 saat bekletilmiştir ve böylelikle jelleşme işlemi tamamlanması sağlanmıştır.



Şekil 2. Çeşitli pH değerlerine sahip sodyum silikat çözeltileri (Sodium silicate solutions with various pH values)

Yaşlandırma işlemi için, jelleşme işlemi tamamlanmış olan numunelerin bünyelerindeki suyu uzaklaştırmak için 50°C'de 24 saat boyunca etüvde bekletilmişlerdir. Yaşlandırma aşamasında numunelerin herbirine 4 ml etanol ilave edilmiştir. Yaşlandırma aşamasından sonra numuneler

kurutmaya alınmıştır. Numuneler 50°C'de 24 saat süreyle etüvde sabit kurutulmuştur. Sentezlenen aerojellerin yapısında bulunan tuzları uzaklaştırmak amacıyla saf su ile yıkama gerçekleştirilmiştir ve 105°C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur.

Sol-jel yöntemi ile silika aerjel parçacıklarının sentezlenmesi amacıyla, Tablo 1'de belirtilen çalışma parametreleri kullanılmıştır. Belirtilen çalışma parametreleri doğrultusunda geri dönüşüm atık döküm kumu kullanılarak, sentezleme çalışmaları için hazır hale getirilmiştir.

Tablo 1. Geri dönüşüm atık döküm kum içeriği ile aerjel üretim parametreleri (Aerogel production parameters with recycling waste casting sand content)

pH	Yaşlandırma sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma süresi (saat)	Kurutma tipi
2	50	24	50°C'de sabit kurutma
4			
6			
8			
9			

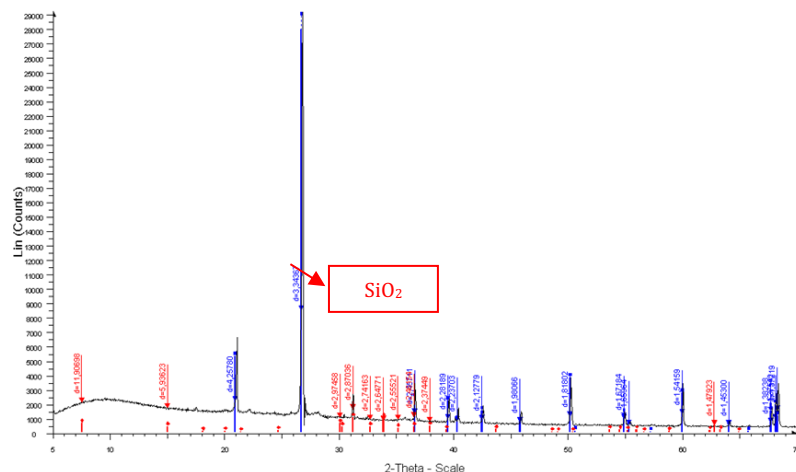
Silika aerjel malzemesi sentezleme çalışmalarına bağlı olarak, malzeme kristalografik özelliklerinin tespiti amacıyla X-ışını kırınımı (XRD) analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Silika aerjel yapısının tanımlanabilmesi açısından bağ yapısı tespiti amacıyla Fourier dönüşümü infrared spektrometresi (FT-IR) çalışmaları yapılmıştır. Aynı zamanda farklı pH parametrelerine bağlı olarak silika aerjel malzemesinin yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Silika aerjel malzemesinin yoğunluk ölçümleri numunelerin kütle / hacim oranları tespit edilerek hesaplanmıştır. Geri dönüşüm atık döküm kumunun TMCS ile (chlorotrimethylsilane) yüzey modifikasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş sonrasında numunenin süper hidrofobikliğin tespiti için Temas Açısı ölçümü yapılmıştır. Son olarak sentezlenen silika aerjel toz formundaki malzemenin şekil ve morfolojisi bakımından, SEM (taramalı elektron mikroskobu) incelemeleri ile karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Başlangıç malzemesi olan geri dönüşüm atık döküm kumunun kimyasal bileşimi ve faz tayini sırasıyla XRF ve XRD analizleri kullanılarak belirlenmiştir. Tablo 2'de verilen XRF analiz sonucuna göre atık döküm kumunda %89 oranında silika içeriği tespit edilmiştir. Aynı zamanda eser miktarlarda diğer kimyasalların yer aldığı görülmektedir. Şekil 3'teki uygulanan XRD analiz sonucu incelendiğinde geri dönüşüm atık döküm kumunun yapısında (SiO₂, PDF no: 01-070-7344), demir oksit (Fe₂O₃, PDF no: 00-040-1139) yer aldığı görülmektedir.

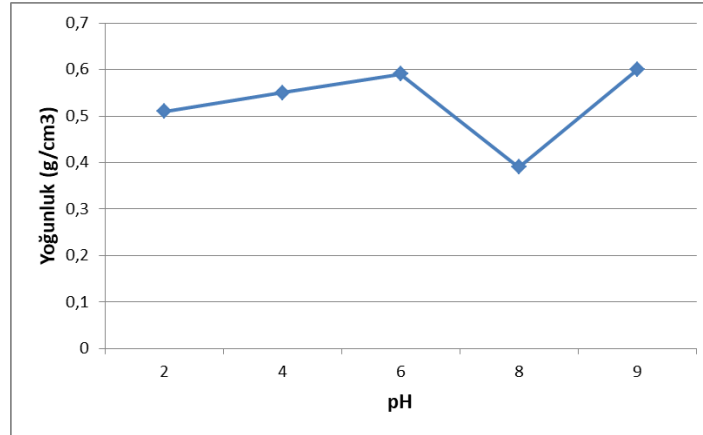
Tablo 2. Atık Döküm Kumuna Ait XRF tablosu (XRF table of Waste Casting Sand)

Numunenin Adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Atık Döküm Kumu	89.00	2.07	3.33	0.29	2.04	-	0.13	-



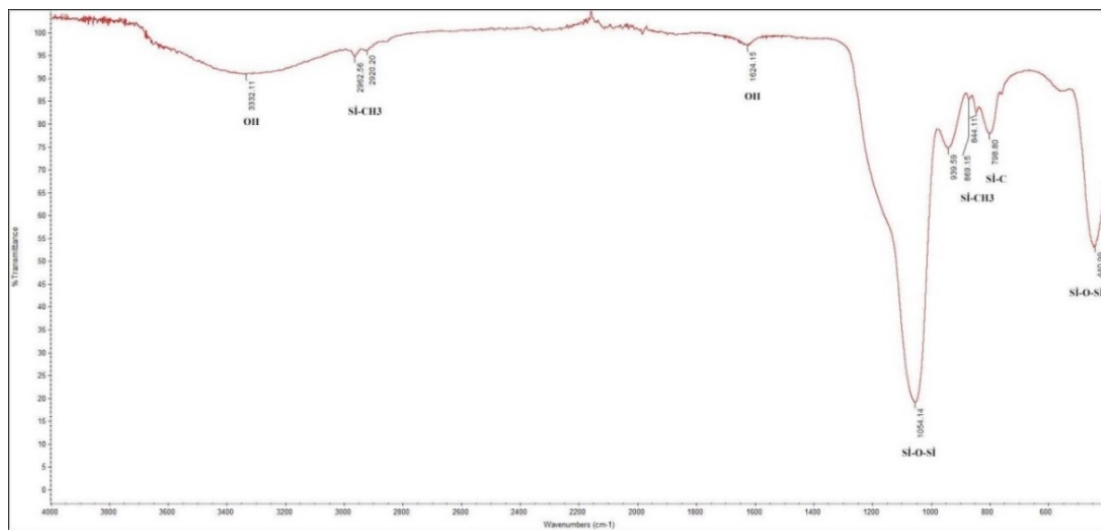
Şekil 3. Geri dönüşüm atık döküm kumu XRD analizi (XRD analysis of recycling waste casting sand)

Mermer ve ark. Ultrason destekli sol-jel yöntemi ile kumdan aerojel sentezi üzerine gerçekleştirdikleri benzer bir çalışmada, SiO₂ yapısının en şiddetli pikinin benzer 2θ mesafesinde oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu bağlamda XRD analiz yapılan geri dönüşüm atık döküm kumunda benzer 2θ mesafesinde pik verdiği belirlenmiştir [12]. Geri dönüşüm atık döküm kumu kullanılarak farklı pH değerleri ile silika aerojel üretiminde tüm parametreler sabit tutularak pH değerinin etkisi incelenmiştir. Şekil 4'teki silika aerojel toz malzemesinin yoğunluk grafiği incelendiğinde, en düşük yoğunluk (0.39 g/cm³) pH 8 değeri ile tespit edilmiştir.

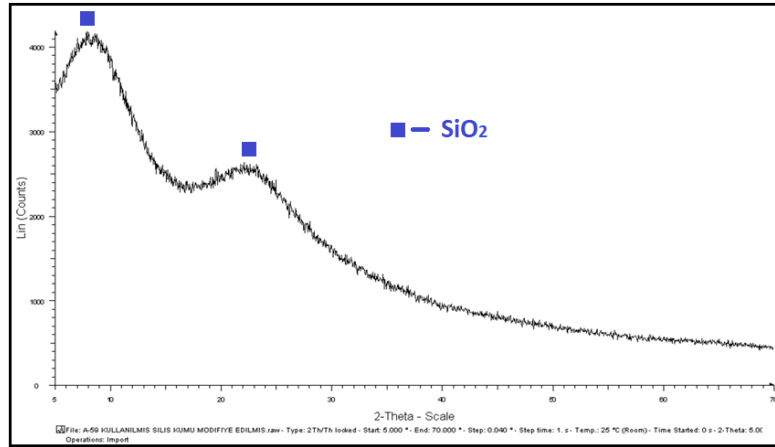


Şekil 4. Farklı pH değerleri ile yoğunluk sonuçları (Density results with different pH values)

Optimum pH 8 değeri ile elde edilen silika aerojel toz malzemesinin FT-IR analiz sonucu Şekil 5' te gösterilmiştir. FT-IR analiz sonucu incelendiğinde, yaklaşık olarak 3300cm⁻¹ ve 1600cm⁻¹ bölgelerinde yapı içerisinde fiziksel olarak nemden/sudan kaynaklı olarak O-H absorpsiyon bantları/titreşimlerinin yer aldığı görülebilmektedir. Aynı zamanda 440cm⁻¹ civarında Si-O-Si titreşimlerinin yanı sıra 2900cm⁻¹, 1050 cm⁻¹ ve 800-850cm⁻¹ civarında TMCS'nin yapıya bağlanması sonrası ortaya çıkan Si-C ve Si-CH₃ absorpsiyon bantları gözlemlenmiştir. Buda sentezlenen silika aerojel toz malzemesinin suyu iten özellikte yani hidrofobik olduğunu göstermektedir. Aynı malzeme üzerine uygulanan XRD analiz sonucu ise Şekil 6' da gösterilmiştir. Şekil 6' da verilen geri dönüşüm atık döküm kumundan üretilen silika aerojelin XRD analiz sonucu değerlendirildiğinde, silika aerojel malzemesinin amorf yapıda olduğu görülebilmektedir. Bu bağlamda literatürle uyumlu olarak 2θ = 24°'de amorf yapıdaki silisyum pikinin yer aldığı tespit edilmiştir [12,19,20]. Aynı zamanda farklı bir safsızlık veya kirlilik bakımından herhangi bir fazında yer almadığı belirlenmiştir.

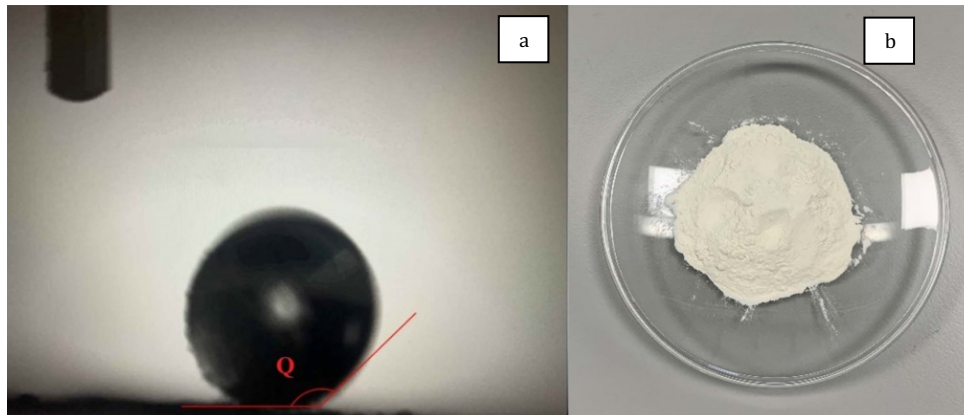


Şekil 5. Süper hidrofobik silika aerojel FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of super hydrophobic silica aerogel)



Şekil 6. Süperhidrofobik silika aerogel XRD analizi (XRD analysis of superhydrophobic silica aerogel)

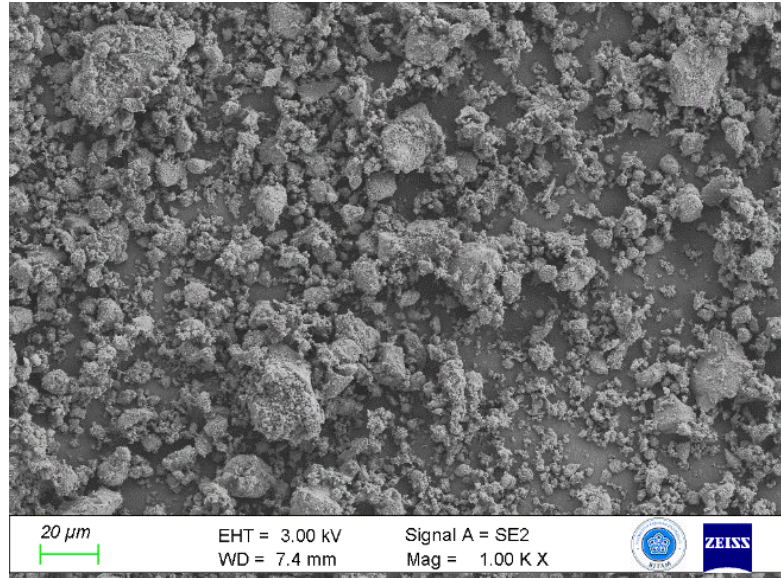
Geri dönüşüm atık döküm kum içeriği kullanımı sonrası sentezlenen silika aerogel malzemesinin TMCS ile yüzey modifikasyonu sonucu ve toz malzeme genel görünümü verilmiştir (Şekil 7). Şekil 7a' da verilen temas açısı ölçümü incelendiğinde, silika aerogel numunesinin temas açısı 150°'den büyük olarak ölçülmüştür. Bu nedenle su damlacığı yüzeyden akarak uzaklaşmıştır. Bu değer geri dönüşüm atık döküm kumundan üretilen silika aerogel numunesinin süper hidrofobik özellikte olduğunu göstermektedir. Deneysel çalışmalar doğrultusunda sentezi ve karakterizasyonu tamamlanan silika aerogel malzeme toz görseli incelendiğinde (Şekil 7b), silika aerogel malzemesinin pudramsı formunda olduğu görülmektedir. Aynı zamanda düşük mikronize boyutlarında bulunduğundan, silika aerogel toz malzemesinin topaklanma/kümelenme eğiliminde olduğu da ayrıca görülmektedir.



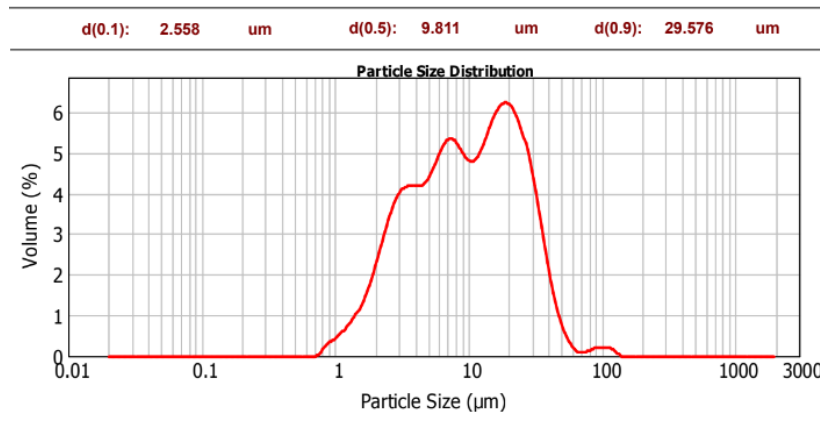
Şekil 7. Silika aerogel malzemesinin; a) Süperhidrofobik silika aerogelin temas açısı, b) Genel görünümü (Silica aerogel material; a) Contact angle of superhydrophobic silica aerogel, b) General view)

Silika aerogel toz malzemesinin şekil ve morfolojik açıdan değerlendirilmesi için elde edilen SEM mikro yapı görüntüsü Şekil 8' de gösterilmiştir. SEM mikro yapı görüntüsü incelendiğinde, tozların düzensiz şekil ve morfolojisine sahip olduğu görülebilmektedir. Sentezlenen silika aerogel toz malzemenin çoğunlukla çok küçük boyutlarda (<10µm) olduğu belirlenmiştir. Özellikle küçülen toz boyutuna bağlı olarak tozlarda kümelenme eğilimi/agglomerasyon oluşumları görülebilmektedir. Bu durumdan kaynaklı olarak bazı bölgelerde toz tanelerde irileşme olduğu tespit edilmiştir.

Sol-jel yöntemi kullanılarak atık dökümü başlangıç malzemesi ile üretilen silika aerogel malzemesinin parçacık boyut analizi sonucu Şekil 9' da verilmiştir. Şekil 9' da verilen parçacık boyut analizi sonucu incelendiğinde, silika aerogel malzemesinin ortalama parçacık boyutu $d(0.5) = 9.811\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucu numune hacminin %50'sinin $9.811\mu\text{m}$ parçacık boyutundan daha küçük olduğunu tanımlamaktadır. Şekil 8' de verilen SEM görüntüsünden de anlaşılacağı üzere parçacık boyutunun oldukça küçük olduğu ve neredeyse nano mertebeye yakın olduğu doğrulanmıştır.



Şekil 8. Silika aerogel malzemesinin SEM görüntüsü (SEM image of silica aerogel material)



Şekil 9. Silika aerogel parçacık boyut analizi (Silica aerogel particle size distribution)

4. Sonuçlar (Conclusions)

Geri dönüşüm atık döküm kumu kullanılarak son zamanlarda hafifliği ve üstün özellikleri ile dikkat çeken silika aerogel malzemesinin sol-jel yöntemi ile sentezi ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir;

Ülkemizde sanayinde yaygın olan kum döküm teknolojisi bakımından, çoğu dökümhanelerde atık olarak yer alan döküm kumunun kullanımı sonrası silika aerogel malzeme üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Geri dönüşüm atık döküm kumunda SiO₂ faz yapısı ve %89.00 olarak kimyasal bileşimi tespit edilmiştir. Son zamanlarda hafifliği ile ön plana çıkan ve Sol-jel yöntemi ile süperhidrofobik özelliğe sahip silika aerogel malzeme, en düşük yoğunluk değeri 0.39 g/cm³ olarak 8 pH değerinde elde edilmiştir. FT-IR spektrumu ile silika aerogel sentezi bakımından, Si-C, Si-O-Si ve Si-CH₃ temel absorpsiyon bantlarının varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca XRD analiz sonucu ile amorf yapıdaki silika aerogel ve temel oluşum pikleri belirlenmiştir. Süperhidrofobik malzeme sentezi ile doğrudan ilişkili olarak, silika aerogel malzemesinin temas açısı 150°'den büyük olarak ölçülmüştür.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

[1] A. Çüçen, Y. T.Altuncı, "Investigating the Opportunities to Use Nanotechnological Building Materials In Architecture," *Journal*

of *Technical Science*, vol. 12, no. 1, pp. 17-23, January 2022. doi:10.35354/tbed.984956

[2] S. Alan, G. G. Akkurt, S. Akkurt, H. Ç. Sezer, A. Çam, "Thermal and hygrothermal characterization of aerogel insulation blankets," *Harran University Journal of Engineering*, vol. 6, pp. 58-69, Kasım 2021. doi:10.46578/humder.870400

[3] L. Bostancı, "Mechanical, Pore Structure and Microstructural Properties of Alkali-Activated Fly Ash Mortars Containing Silica Aerogel," *BSEU Journal of Science*, vol. 7, no. 2, pp. 588-608, Aralık 2020. doi:10.35193/bseufbd.719911

[4] G. G. Kaya, H. Deveci, "Morphological, Textural And Thermal Properties of Low-Cost Silica Aerogel Composites," *Konya Journal of Engineering Sciences*, vol. 9, no. 3, pp. 787-796, Eylül 2021. doi:10.36306/konjes.969489

[5] L. Bostancı, "Mechanical, Pore Structure, Thermal Conductivity and Microstructure Properties of Silica Aerogel-Incorporated Hybrid Silica Fume Mortars," *Dicle University Journal of Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 147-163, Ocak 2021. doi:10.24012/dumf.754876

[6] J. L. Gurav, I. K. Jung, H. H. Park, E. S. Kang, D. Y. Nadargi, "Silica Aerogel: Synthesis and Applications," *Journal of Nanomaterials*, pp. 11, August 2010. doi:10.1155/2010/409310

[7] J. Zhu, J. Xie, X. Lü, D. Jiang, "Synthesis and characterization of superhydrophobic silica and silica/titania aerogels by sol-gel method at ambient pressure," *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, vol. 342, no. 1-3, pp. 97-101, June 2009. doi:10.1016/j.colsurfa.2009.04.016

[8] M. Y. Kılıç, M. Tüylü, "Bursa'daki Atık Döküm Kumlarının Endüstriyel Simbiyoz ile Hazır Beton Üretiminde Hammadde Olarak Kullanımı," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, cilt. 24, sayı 1, s. 99-110, Şubat 2019. doi:10.17482/uumfd.463234

[9] B. Bhardwaj, P. Kumar, "Waste foundry sand in concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 156, pp. 661-674, December 2017. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.09.010

[10] A. E. Çimen, N. Toplan, "Döküm Kumu ve atık döküm kumundan silika esaslı aerogel toz eldesi," *Metal Dünyası Dergisi*, cilt. 329, Kasım 2020.

[11] A. S. Dorcheh and M. H. Abbasi, M.H. "Silica aerogel; synthesis, properties and characterization," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 199, no. 1-3, pp. 10-26, April 2008. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.10.060

[12] N. K. Mermer, S. Pişkin, "Synthesis and Characterization of Industrial Casting Sand Based Silica Aerogel," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 34, no. 3, pp. 1253-1263, Mayıs 2019. doi:10.17341/gazimmfd.460521

[13] J. Fricke, T. Tillotson, "Aerogels: production, characterization, and applications," *Thin Solid Films*, vol. 297, no. 1-2, pp. 212-223, April 1997. doi:10.1016/S0040-6090(96)09441-2

[14] N. K. Mermer, "Silika temelli aerojellerin sol-jel yöntemi ile sentezi ve yapısal özelliklerin incelenmesi," Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.

[15] T. Zhou, L. Gong, X. Cheng, Y. Pan, C. Li, H. Zhang, "Preparation and characterization of silica aerogels from by-product silicon tetrachloride under ambient pressure drying," *Journal of Non-Crystalline Solid*, vol. 499, pp. 387-393, November 2018. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2018.05.036

[16] Q. Wang, J. Feng, L. Ma, W. Wei, J. Xie, C. Xia, J. Zhu, D. Jiang, "Synthesis, characterization, and adsorption properties of silica aerogels crosslinked with diisocyanate under ambient drying," *Journal of Materials Science*, vol. 51, pp. 9472-9483, October 2016. doi:10.1007/s10853-016-0191-2

[17] P. B. Sarawade, J. K. Kim, J. K. Park, H. K. Kim, "Influence of Solvent Exchange on the Physical Properties of Sodium Silicate Based Aerogel Prepared at Ambient Pressure," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 6, no.1, pp. 93-105, December 2006. doi:10.4209/aaqr.2006.03.0008

[18] D. C. Öz, B. Öz, N. Kaya, "The effect of aging and drying time on the physical properties of alumina aerogels," *Journal of BAUN Insitu of Science Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 198-211, July 2018. doi:10.25092/baunfbd.348344

[19] Z. M. Tobin, L. F. Posada, A. M. Bechu, M. K. Carroll, R. M. Bouck, A. M. Anderson, B. A. Bruno, "Preparation and characterization of copper-containing alumina and silica aerogels for catalytic applications," *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, vol. 84, pp. 432-445, June 2017. doi:10.1007/s10971-017-4425-9

[20] H. E. Rassy, A. C. Pierre, "NMR and IR spectroscopy of silica aerogels with different hydrophobic characteristics," *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 351, no. 19-20, pp. 1603-1610, July 2005. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2005.03.048

This is an open access article under the CC-BY license

